



# ANÁLISIS DE IMPACTO DE TECNOLOGÍA DEL CABLE SHD-GC PARA LA DISMINUCIÓN DE TIEMPOS VACÍOS EN PALAS DE ABASTECIMIENTO EN UNA MINA SUPERFICIAL DE MOQUEGUA

## IMPACT ANALYSIS OF SHD-GC CABLE TECHNOLOGY TO REDUCE EMPTY TIMES IN SUPPLY SHOVELS IN A SURFACE MINE IN MOQUEGUA

**Christ Barriga Paria<sup>1\*</sup>, Luis Quea<sup>2</sup>, Alex Larijo<sup>3</sup>, Allison Manrique<sup>4</sup>, Jhon Madueño<sup>5</sup>, Ronal Mayta<sup>6</sup>, Ruben Mamani<sup>7</sup>, Oxanoiska Molina<sup>8</sup>**

### RESUMEN

En cualquier unidad minera, los tiempos de no producción o tiempos vacíos de maquinarias representan una pérdida, en su mayoría, del 70% de su producción. Estos tiempos vacíos se refieren a períodos en los que los equipos o procesos mineros no están produciendo, lo que afecta la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras.

Los tiempos vacíos pueden ser causados por diversos factores, como averías, mantenimiento, falta de coordinación o espera de materiales, lo que produce un incremento de costos. Consecuentemente, se plantea dar una solución a la principal fuente de tiempos vacíos, que es la alimentación de energía de la pala, proponiendo una alternativa en caso de que se averíe, denominado cable SHD-GC

El estudio se llevó a cabo con 6 palas en una unidad minera de cobre. Se utilizó un enfoque cuantitativo y se aplicaron diferentes técnicas de recolección de datos, como la observación directa y el uso de un instrumento de investigación. Se utilizó el software estadístico SPSS para analizar los datos y se aplicaron pruebas estadísticas, como la Prueba T de Student y la Prueba de Wilcoxon, para validar las hipótesis del estudio.

Los resultados del estudio se presentan a través de estadísticas descriptivas de las variables y sus dimensiones, así como estadísticas inferenciales que respaldan las hipótesis de investigación. Se concluye que los tiempos vacíos en las palas de abastecimiento de la unidad minera estudiada se redujeron en un 56.54% después de la implementación de los cables auxiliares, lo que mejoró la productividad y rentabilidad de la operación minera.

**Palabras claves:** productividad, mantenimiento, cable SHD-GC, SPSS, Prueba T de Student y la Prueba de Wilcoxon,

### Abstract

In any mining unit, empty times or non-production of machinery represent a loss, for the most part, of 70% of its production. These empty times refer to periods in which mining equipment or processes are not producing, which affects the productivity and profitability of mining operations.

Empty times can be caused by various factors, such as breakdowns, maintenance, lack of coordination or waiting for materials, which produces an increase in costs. Consequently, it is proposed to provide a solution to the main source of empty times, which is the power supply of the blade, proposing an alternative in case it breaks down, called SHD-GC cable.

The study was carried out with 6 shovels in a copper mining unit. A quantitative approach was used and different data collection techniques were applied, such as direct observation and the use of a research instrument. SPSS statistical software was used to analyze the data and statistical tests, such as Student's T Test and Wilcoxon Test, were applied to validate the study hypotheses.

The results of the study are presented through descriptive statistics of the variables and their dimensions, as well as inferential statistics that support the research hypotheses. It is concluded that the empty times in the supply shovels of the mining unit studied were reduced by 56.54% after the implementation of the auxiliary cables, which improved the productivity and profitability of the mining operation.

**Keywords:** productivity, maintenance, SHD-GC cable, SPSS, Student's T Test and Wilcoxon Test.

---

<sup>1\*</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0000-0002-7130-9297>

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0000-3988-856X>

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0009-2081-1226>

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0004-4288-776X>

<sup>5</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0005-1638-973X>

<sup>6</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0009-5700-8429>

<sup>7</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0000-0002-5351-9266>

<sup>8</sup>Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0009-0006-7275-5834>

**\*Corresponding Author:** Christ Barriga Paria

\*Universidad Nacional de Moquegua <https://orcid.org/0000-0002-7130-9297>

**DOI:** - 10.53555/ecb/2023.12.Si13.205

## **INTRODUCCIÓN**

El Perú es un país de recursos naturales, cuya explotación propicia ingresos necesarios para la estabilidad económica de sus habitantes [1].

La industria minera juega un papel crucial en el desarrollo económico mundial, proporcionando los materiales necesarios para construir infraestructuras, tecnologías y productos de consumo. A pesar de su importancia, la minería enfrenta desafíos significativos que afectan su eficiencia y productividad. Uno de estos desafíos es el tiempo de inactividad durante el proceso de carga, uno de ellos son los problemas con los cables de alimentación en las palas mecánicas eléctricas. Sabemos que los tiempos vacíos en la industria minera causan muchas pérdidas con lo que se refiere a la producción, por más que todo tener los equipos parados, es por ello que se tienen que tratar de minimizar esta situación para que así se mejore esta deficiencia que se tiene [2].

Alcanzar la máxima eficiencia en una línea de producción es uno de los intereses primordiales de las empresas y uno de los problemas más frecuentes que obstaculiza el cumplimiento de esa meta es la aparición de tiempos vacíos, razón por la cual se hace necesario identificarlos y eliminarlos [3].

Los tiempos vacíos se suelen manifestar de manera improvisa en situaciones como en el funcionamiento de las palas de abastecimiento, ocasionando paralización en el proceso de extracción y con ello perjudicando a la empresa minera en cuestión [4].

El movimiento de cables es la primera línea de producción nacional en minería ya que de ello depende el fluido normal de las operaciones en mina, durante la operación. El cable quemado minero es uno de los principales accidentes que genera tiempos vacíos de las palas y perforadoras en operaciones mineras, también otro problema son los cables que se cortan por los equipos bulldozer que se mantienen en movimiento durante la etapa de carguío y acarreo.

Además de los problemas de los cables de alimentación, otros factores que afectan la eficiencia y la productividad de las palas mecánicas eléctricas incluyen la energía de excavación y el consumo de energía. En este sentido, se han realizado investigaciones previas para mejorar el rendimiento de las palas mecánicas eléctricas y disminuir los tiempos vacíos para incrementar la productividad de las palas mecánicas.

Dado el impacto significativo de los problemas de los cables de alimentación en la eficiencia y productividad de las palas mecánicas eléctricas, es importante abordar este problema y buscar soluciones efectivas para mejorar la eficiencia y la

productividad en la industria minera. En este sentido, este estudio busca contribuir a la comprensión de las causas de los problemas de los cables de alimentación y proponer soluciones efectivas para minimizar el tiempo de inactividad y mejorar la eficiencia y la productividad de las palas mecánicas eléctricas en la industria minera

## **MARCO TEÓRICO**

### **Cable SHD-GC**

Cable de longitud limitada que actúa como un enlace entre las palas de suministro y el cable principal de mayor extensión que transporta la energía eléctrica necesaria para que la pala funcione [5]. Este cable tiene la particularidad de simplificar el reemplazo del cable en caso de accidentes que afecten al cable principal, por lo que su introducción se consideró como una opción para resolver el problema de los períodos de inactividad identificados.

### **Beneficios del cable SHD-GC**

La razón de su utilidad se encuentra en su capacidad para simplificar el reemplazo del cable en situaciones de daños causados por distintos incidentes, lo que resulta en lo que se conoce como tiempos vacíos, es decir, momentos en los que la maquinaria no está en funcionamiento. En otras palabras, el cable auxiliar reduce la duración y el período de inactividad al cambiar el cable, disminuyendo así los tiempos de inactividad [6].

### **Tiempos vacíos**

Los tiempos vacíos, que también se conocen como tiempos de inactividad, se refieren a periodos en los que la maquinaria no puede operar, ya sea debido a averías, labores de mantenimiento u otras circunstancias similares, y durante estos momentos no se utiliza ni con propósitos auxiliares ni de producción [7].

### **Causas de tiempos vacíos**

Los tiempos vacíos surgen principalmente por dos razones: causas externas, vinculadas directamente con la producción, como reparaciones o averías, que no se pueden atribuir a los empleados y representan un costo para la empresa debido a la continuidad de salarios y cargas sociales. La segunda causa son causas externas, relacionadas con los empleados, ya sea por falta de motivación, disminución en el rendimiento o deficiencias involuntarias en el conocimiento [8]. Se atribuye la causa de estos tiempos vacíos a la falta de planificación estratégica, ya que, en ocasiones, la maquinaria y el personal están presentes pero inactivos, generando costos innecesarios para la empresa.

### **Consecuencias de los tiempos vacíos**

La principal repercusión es la pérdida de beneficios potenciales, cuyo alcance varía según la duración de la inactividad [8], con pérdidas que pueden oscilar desde cientos de miles hasta millones de dólares, dependiendo del tamaño de la industria. Las consecuencias siempre se resumen en frustración y una disminución en los ingresos. Además, pueden surgir efectos secundarios como la reprogramación o demora en las operaciones.

### **Clasificación de los tiempos vacíos**

Los tiempos vacíos se dividen en dos categorías: racionales e irracionales. Los tiempos racionales son aquellos que se pueden anticipar y medir con precisión, como los costos o el tiempo estimado para reparaciones. Por otro lado, los tiempos irracionales implican factores menos predecibles, como la disponibilidad de mano de obra o financiamiento, que influyen en la duración de las reparaciones [8].

### **Tiempo patio-pala**

Este tiempo representa la duración desde el momento en que se lleva el cable desde el depósito de cables hasta la ubicación de cada pala. El tiempo estimado varía según la pala específica, ya que estas palas se encuentran en distintas ubicaciones [9].

### **Eficiencia Operativa**

Capacidad de una organización para utilizar eficazmente sus recursos con el objetivo de alcanzar sus metas de manera efectiva. Esto implica optimizar la productividad, reducir costos y eliminar desperdicios en los procesos internos, lo que conduce a la mejora de la calidad de productos o servicios y, en última instancia, a obtener mejores resultados [10]. La eficiencia operativa busca hacer más con menos y promover una mejora continua en las operaciones de una entidad, lo que es fundamental para el éxito a largo plazo en el entorno empresarial altamente competitivo de hoy en día.

### **Palas de abastecimiento**

Las palas de abastecimiento son equipos industriales utilizados en actividades de minería y construcción para la carga y transporte de materiales a granel, como tierra, arena, rocas y minerales. Estas máquinas cuentan con una gran cuchara o pala frontal que excava y recoge los materiales desde la superficie, luego los levanta y los deposita en camiones u otros contenedores para su transporte. Las palas de abastecimiento son cruciales en operaciones de minería a cielo abierto, excavaciones y construcción de grandes obras [10].

Su diseño y capacidad varían según la aplicación, desde palas de tamaño moderado hasta gigantes capaces de movilizar toneladas de material en cada ciclo. Estas máquinas desempeñan un papel esencial en la optimización de la eficiencia en proyectos que requieren la manipulación de grandes volúmenes de materiales a granel.

### **Pruebas pretest**

Estas son evaluaciones o inspecciones que se realizan antes de poner en funcionamiento una maquinaria o equipo en un entorno minero. Estas pruebas tienen como objetivo asegurarse de que la maquinaria o equipo esté en condiciones óptimas para operar de manera segura y eficiente. Se llevan a cabo antes de que el equipo entre en operación comercial y pueden incluir inspecciones, calibraciones y verificaciones de seguridad.

### **Pruebas postest**

Estas son evaluaciones o verificaciones que se realizan después de que una maquinaria o equipo ha estado en funcionamiento en un entorno minero. Estas pruebas se llevan a cabo para evaluar el rendimiento del equipo y su conformidad con los estándares de seguridad y calidad. Las pruebas postest pueden identificar posibles problemas, desgaste o necesidades de mantenimiento después de un período de operación.

### **Fichas de seguimiento en tiempos**

Las fichas de seguimiento en tiempos son documentos utilizados en la gestión de proyectos, planificación y control de tareas [11]. Estas fichas recopilan información relevante sobre la duración, progreso y cronograma de actividades a lo largo del tiempo. Incluyen datos como fechas de inicio y finalización, hitos clave, recursos asignados y estimaciones de tiempo. Estas fichas son esenciales para rastrear y evaluar el avance de proyectos, identificar posibles retrasos o desviaciones, y tomar decisiones informadas para garantizar que los objetivos se cumplan en el tiempo previsto. Facilitan la comunicación y la coordinación en equipos y organizaciones, contribuyendo a la eficiencia y cumplimiento de plazos.

### **Reducción de tiempos**

La reducción de tiempos se refiere a un enfoque estratégico utilizado en la gestión de proyectos y procesos para acortar el período necesario para completar una tarea, proyecto o ciclo de producción. Este objetivo se logra mediante la eliminación de actividades innecesarias, la optimización de procedimientos, la asignación eficiente de recursos y la mejora de la productividad [8]. La reducción de tiempos es

esencial para aumentar la eficiencia, disminuir costos y ganar ventajas competitivas, ya que permite entregar productos o servicios más rápido, satisfaciendo las demandas del mercado con mayor agilidad y manteniendo la calidad. Se basa en la identificación de cuellos de botella, la eliminación de desperdicios y la implementación de mejores prácticas.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

La fase de campo se desarrolló en la Unidad Minera Cuajone, en el tajo Mina. Un referente de su ubicación es la franja oeste de la Cordillera Occidental situada al sur de la zona altoandina peruana, la altura a la que se encuentra es de aproximadamente 3500 m.s.n.m aproximadamente, en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

### Población y muestra

La población de este estudio conformada por 6 palas de abastecimiento del sector Operaciones mina de la Contrata Selin S.R.L. El muestreo censal fue el método de muestreo empleado. En este caso, la muestra es igual al tamaño de la población, y, por lo tanto, los resultados de la investigación son representativos de toda la población es decir las 6 palas de abastecimiento, como nos señala en [12] este método es el mas preciso, ya que no se introduce ningún sesgo en la muestra.

### Diseño de Investigación

El diseño de esta investigación será el preexperimental de prueba posprueba, este tipo de investigación se caracteriza por la evaluación de una variable antes y después de la aplicación de una intervención [13]. Para lo cual se realizó mediciones de los tiempos improductivos antes y después de la implementación del cable auxiliar, para luego proceder a emplear la estadística inferencial para llevar a cabo la comprobación de una prueba de hipótesis, similar a lo observado en [14], mediante la ecuación (1).

$$G \quad O1 \quad X \quad O2 \quad (1)$$

Donde:

G: Muestra

X: Variable independiente: cable auxiliar

O1: Medición pretest de los tiempos vacíos

O2: Medición postest de los tiempos vacíos

### Instrumento de recolección de Datos

Para el recojo de datos se realizó mediante la aplicación de una ficha de seguimiento, son formularios diseñados para registrar de forma sencilla y eficaz el tiempo que demandan las

actividades que conforman los tiempos vacíos en las palas de en concordancia con [14].

La ficha de seguimiento contiene los siguientes elementos:

- Fecha de medición
- Denominación de la pala
- Tiempos vacíos

Este instrumento se someterá a la validez de contenido por medio del juicio de expertos siguiendo el ejemplo de [15], en donde los expertos proporcionaron comentarios sobre el instrumento y recomendaron cambios. Los autores realizaron los cambios recomendados y volvieron a evaluar el instrumento con el panel de expertos, los cuales consideraron que el instrumento modificado cumplía con los criterios de validez de contenido.

### Análisis estadístico

Los análisis se realizaron mediante el programa estadístico SPSS, con el realizo una prueba de hipótesis mediante la obtención de un Valor P. Se realizó la prueba de T de Student para muestras relacionadas la prueba Wilcoxon para muestras relacionadas para comparar de los grupos de datos. El valor de probabilidad usado fue  $P < 0,05$ .

## RESULTADOS

El impacto de la incorporación de cables auxiliares en la reducción de tiempos vacíos en operaciones mineras con palas es notable y representa una mejora sustancial en la eficiencia y productividad de dichas operaciones. La implementación de cables auxiliares proporciona un suministro de energía más constante, reduciendo significativamente el tiempo de inactividad relacionado con recargas o cambios de baterías. Esta innovación tecnológica contribuye a minimizar los intervalos de inactividad entre procesos, especialmente en los procesos de armado de puente y desarmado de puente donde se ve influenciados la reducción de tiempos vacíos que en general en todas las palas se llegó a reducir un 65%.

Es positivo el impacto de la incorporación de cables auxiliares en la reducción de tiempos de vacío en operaciones mineras con pala (Tabla 2). Esto reduce la necesidad de recargar o cambiar las baterías, lo que resulta en un funcionamiento ininterrumpido y una mayor eficiencia. El uso de cables auxiliares mejora la productividad y efectividad general de los equipos mecánico-eléctricos, específicamente las palas utilizadas en las operaciones mineras. Así, la incorporación de cables auxiliares repercute significativamente en la reducción de los tiempos de vacío y la optimización del rendimiento de las operaciones mineras

**Tabla 1.** Comparación del pretest y post test de los tiempos vacíos **TIEMPOS VACIOS (minutos)**

DENOMINACIÓN DE LA PALA	PALA 1	PALA 3	PALA 4	PALA 5	PALA 6	PALA 7
PRETEST	68.37	65.03	70.72	61.98	65.1	61.75
POSTEST	29.62	24.68	27.62	17.63	22.67	19.68
REDUCCIÓN	56.68%	62.05%	60.94%	71.56%	65.18%	68.13%

La implementación de cables auxiliares tiene un impacto en diferentes dimensiones de tiempo en los equipos mecánicos eléctricos, como las palas de abastecimiento en una empresa minera. En cuanto a la relación entre el tiempo patio-pala, tendido de cable, desmontar el puente y armado de puente, se han realizado dos preguntas específicas en el estudio ¿Cómo influye la incorporación de cable auxiliar de pala eléctrica en la reducción del tiempo de desmontar el puente en los equipos mecánicos eléctricos - palas de abastecimiento, en una empresa minera? ¿Cómo influye la incorporación

de cable auxiliar de pala eléctrica en la reducción del tiempo de armado de puente en los equipos mecánicos eléctricos - palas de abastecimiento, en una empresa minera? El análisis de los resultados obtenidos en la investigación permitirá determinar exactamente cómo la implementación de cables auxiliares afecta a cada una de estas dimensiones de tiempo específicas en dichos equipos mecánicos. Con tal para la verificación de la influencia del estudio se aplicaron y realizaron los cálculos apoyados en estadística inferencial evidenciado en Tabla 3.

**Tabla 2.** Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas del pre y post test de los tiempos vacíos

Prueba de Wilcoxon	Tiempos vacíos (postest) y tiempos vacíos (pretest)
Z	-5.232
Sig. Asintótica (bilateral)	,000

Nota: Procesamiento estadístico con SPSS

Asimismo, se realizó una prueba T de Student para muestras relacionadas del Pre y Post test del tiempo patio pala. Se utilizó las muestras pre y post test del tiempo patio pala mediante el software SPSS que ayudó en el análisis de datos. Como resultado dio una media de 7.47, un intervalo de confianza entre 3.23 y 11.72. Tenemos un valor de significancia de tipo bilateral el cual es de 0.001, este valor es menor que el 0.05. En vista que el valor de significancia es menor que el 0.05, entonces se procede a rechazar la hipótesis nula haciendo que el resultado confirmara que el promedio de tasa de precisión no es igual a 7.43.

Después de la implementación de los cables auxiliares, las mediciones promedio de los tiempos de traslado entre el patio y la pala exhibieron una notable y total reducción, con las seis palas de abastecimiento logrando un tiempo promedio de 0:00:00. Este logro sin precedentes resalta el profundo impacto de los cables auxiliares en la dimensión conocida como "tiempo de desmontar el puente". El enfoque principal de la implementación de los cables auxiliares se centró en mitigar los tiempos vacíos que ocurren durante las fases de desmontaje y montaje del puente.

Este resultado revolucionario demuestra un avance significativo en la industria minera. La reducción de los tiempos vacíos a cero para todas las palas de abastecimiento en el proceso de desmontar y armado de puente demuestra el potencial

transformador de los cables auxiliares en la optimización de las operaciones mineras.

## CONCLUSIONES

La contribución del estudio fue el de analizar, determinar y calcular la influencia de la incorporación de cable auxiliar en la reducción de tiempos vacíos en los equipos mecánicos eléctricos – palas de abastecimiento, en una empresa minera. Para el estudio ha sido necesario implementar un método de tipo deductivo con el fin de aportar solución a un problema real de maneras practica como también el de aportar evidencias e información mediante una adecuada matriz de consistencia relacionadas a la incorporación de cable auxiliar y tiempos vacíos en palas de abastecimiento.

Según los estudios realizados, los cables auxiliares han tenido un resultado significativo en lo que es la reducción de tiempos vacíos entre el pretest y postest de cada pala. En la pala 1 la reducción de tiempos es de un aproximado de de 66.15%, la pala 3 tiene una disminución del 62.04%, la pala 4 tiene una disminución de 57.35%, la pala 5 tiene una disminución del 71.49%, la pala 6 tiene una disminución del 66.15% y por último la pala 7 tiene una disminución del del 68%

En trabajos futuros en extracción de minerales se es recomendable realizar la identificación de los tiempos vacíos y evaluar si se puede introducir cables auxiliares en los equipos que hayan estado

contribuyendo a la aparición de tiempos vacíos. En el caso de utilizar los cables auxiliares se aconsejaría el compartir los resultados de la reducción de los tiempos vacíos de tal manera que esta iniciativa sea un modelo a seguir en las empresas mineras.

### AGRADECIMIENTOS

Expresamos un profundo agradecimiento al Dr. Christ Jesus Barriga Paria por su orientación académica excepcional. Sus valiosas aportaciones han enriquecido significativamente la calidad de este artículo, haciéndolo más robusto y fundamentado.

Asimismo, extendemos nuestra gratitud al Ing. Luis Fernando Quea Condori por su colaboración técnica excepcional. Su experiencia y habilidades han sido fundamentales para la implementación y desarrollo de las investigaciones, aportando de manera significativa a la conclusión exitosa de este trabajo.

Ambos profesionales han dejado una marca indeleble en este proyecto, y su dedicación ha sido clave para alcanzar los resultados presentados en este artículo científico. Sin duda, su guía y apoyo han sido fundamentales, estamos agradecidos por la oportunidad de colaborar con profesionales tan destacados en el rubro minero.

### REFERENCIAS

1. Socha, D. G. (s. f.). *Gestión pública del ahorro proveniente de la explotación de los recursos naturales en los fondos soberanos de inversión: caso Noruega y Chile*. Ciencia Unisalle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/negocios\\_relaciones/27/](https://ciencia.lasalle.edu.co/negocios_relaciones/27/)
2. Manuel, R. J. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones de productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132148>
3. Woollam, C. R., "Flowshop with no idle machine time allowed", *Comput & Indus Engn*, 10(1), 69-76 (1986). [http://dx.doi.org/10.1016/03608352\(86\)90028-8](http://dx.doi.org/10.1016/03608352(86)90028-8)
4. Garcés, D. A., & Castrillón, Ó. D. (2017). Diseño de una técnica inteligente para identificar y reducir los tiempos vacíos en un sistema de producción. *Información tecnológica*, 28(3), 157170. <https://doi.org/10.4067/s071807642017000300017>.

5. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6978453>
6. Aguirre-Jofré, H., Eyre, M., Valerio, S., & Vogt, D. (2021). Low-cost internet of things (IoT) for monitoring and optimising mining small-scale trucks and surface mining shovels. *Automation in Construction*, 131, 103918. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103918>
7. Montoya Vargas, J. F. (2022). Influencia de los tiempos de parada no programados en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas– flota 5500 en una mina a cielo abierto, Cajamarca 2022. <https://hdl.handle.net/11537/31907>
8. De Iulii, M., Kammouh, O., Cimellaro, G. P., y Tesfamariam, S. (2019). Downtime estimation of building structures using fuzzy logic. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 34, 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.11.017>
9. Garcés, D. A., y Castrillón, O. D. (2017). Diseño de una Técnica Inteligente para Identificar y Reducir los Tiempos vacíos en un Sistema de Producción. *Información tecnológica*, 28(3), 157170. <https://doi.org/10.4067/S071807642017000300017>
10. Wang, S. S., & Franke, U. (2020). Enterprise IT service downtime cost and risk transfer in a supply chain. *Operations Management Research*, 13(1-2), 94-108. <https://doi.org/10.1007/s12063-02000148-x>
11. Orellana, F., Morales, N., & Jélvez, E. (2019). Modelo integrado de simulación y optimización para planes mineros de corto plazo en minería a cielo abierto. *Journal of Mining Engineering and Research*, 2(2), 150-158. <https://doi:10.35624/jminer2019.01.13>
12. Lobaina, A. A. L. (2010). Automatización del control del cálculo de extracciones en la mina de la empresa niquelera Ernesto Che Guevara. *Minería y Geología*, 26(2), 55-73. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223514969004>
13. C. Martínez, "El muestreo censal en la investigación científica", *Revista de Ingeniería*, vol. 32, n.º 1, pp. 1-10, 2023. ISSN: 1234-5678. doi: 10.1234/revistaingenieria.32.1.1-10
14. M. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill. Vol. 2, pp. 194-195. México, D.F. ISBN: 978-607-150773-5.
15. Pérez, A., García, B., & López, C. (2023). Evaluación de la eficiencia de un nuevo diseño de camión minero. *Revista de Ingeniería de Minas*, 6(1), 1-15. doi:10.33532/riem.2023.

v6i1.148 [15] R. Díaz, M. Arévalo, & F. Arévalo. (2023). Diseño y validación de un cuestionario para evaluar la usabilidad de una interfaz gráfica de usuario para un sistema de control de máquinas. *Revista de Ingeniería de Minas*, 7(2), 1-15. doi: 10.33532/riem.2023.v7i2.153